

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut geoinformatiky

## **Simulace a monitorování pohybu mobilních telefonů po dálnici**

Diplomová práce

**Autor:**

Bc. Ivo Filip

**Vedoucí diplomové práce:**

doc. Ing. Petr Rapant, CSc.

Ostrava 2008

## Prohlášení

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Rovněž souhlasím s tím, že kompletní text diplomové práce bude publikován v materiálech zajišťujících propagaci VŠB-TUO, vč. příloh časopisů, sborníků z konferencí, seminářů apod. Publikování textu práce bude provedeno v omezeném rozlišení, které bude vhodné pouze pro čtení a neumožní tedy případnou transformaci textu a dalších součástí práce do podoby potřebné pro jejich další elektronické zpracování.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst.4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

*V Ostravě dne 25.4.2008*

*Ivo Filip*

*Adresa trvalého pobytu:*

*Vratimov*

*Nová 13/515*

*okr. OSTRAVA-MĚSTO*

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Tato diplomová práce se zabývá monitorováním pohybu mobilních telefonů po dálnici. Pohyb mobilních telefonů je určen na základě dat, poskytnutých základnovými stanicemi. Tyto informace jsou majetkem mobilního operátora, proto jsou tato data simulována. V první části je zjištěna struktura dat poskytovaná základnovými stanicemi a vytvořen způsob simulace těchto dat. Druhá část zpracovává simulovaná data a vyhodnocuje je. Zjišťuje počet vozů na dálnici. Jestli došlo k havárii a kde. Které vozy překročili rychlost a vizualizace z hlediska intenzity, průměrné rychlosti a překročení rychlosti.

Na závěr je aplikace pro monitorování pohybu ověřena na modelovém příkladě.

## **ANOTATION OF GRADUATION THESIS**

This theses deals with simulation and monitoring of mobile phone movement along highway. Mobile phone movement is defined by data obtained from Base Transceiver Stations. These data are property of mobile network operator and that's why are this data simulated. The first part deals with finding data structure provided by Base Transceiver Stations and the way for it's simulation is given. In the second part the simulated data are processed and evaluated. In this process information like quantity of car on the highway, place of accident, breaching the speed limit are gained. Further, there is visualization of frequency of traffic, average speed and breaching the speed limit.

At the conclusion is application for monitoring movement tested in practical example.

## OBSAH

1	Cíle práce.....	1
2	GSM sítě a jejich využití v dopravě .....	2
2.1	Historie .....	2
2.2	Princip .....	2
2.3	Popis částí systému GSM .....	4
2.4	Určování polohy v praxi.....	6
2.5	Situace u Českých operátorů .....	7
3	Zvolená metoda řešení.....	9
3.1	Handover .....	9
3.2	Data poskytovaná BTS.....	11
4	Popis metody simulace dat .....	13
4.1	Simulace pohybu .....	15
4.2	Simulace havárie .....	15
4.3	Uložení do databáze .....	17
4.4	Uložení do souboru .....	18
5	Popis metody analýzy dat.....	19
5.1	Definice označení úseku.....	19
5.2	Grafické rozhraní.....	21
5.3	Zjištění havárie .....	23
5.4	Překročení rychlosti.....	24
6	Výběr programových prostředků pro zpracování .....	25
6.1	NetBeans .....	25
6.2	ArcGIS 9.1.....	25
6.3	MySQL.....	25
7	Samotné řešení problematiky .....	27
7.1	Struktura simulátoru .....	27
7.2	Průběh simulátoru.....	27
7.3	Struktura aplikace pro analýzu .....	29
7.4	Průběh aplikace pro analýzu.....	29
8	Ověření výsledků na ukázkovém příkladě.....	31
8.1	Simulace pohybu .....	31
8.2	Simulace nehody .....	33
8.3	Překročení rychlosti.....	34
8.4	Monitorování pohybu .....	36
9	Závěrečné zhodnocení .....	38
10	Seznam použité literatury .....	39
11	Seznam obrázků .....	40
12	Seznam tabulek.....	40

## Seznam použitých zkratk

VŠB – TU	Vysoká škola báňská – technická univerzita
SQL	structured query language
GSM	Global System for Mobile communications
BTS	Base Transceiver Station
BSS	Base Station System
NSS	Network Switching Subsystem
MSC	Mobile Switching Center
MS	Mobile Station
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
VLR	Visitor Location Register
HLR	Home Location Register
NCHO	Network Controlled HandOver
MAHO	Mobile Assisted HandOver
MCHO	Mobile Controlled HandOver

## 1 CÍLE PRÁCE

- Zjistit strukturu dat poskytovaných základnovými stanicemi sítí operátorů mobilních telefonů
- Navrhnout způsob simulace pohybu mobilních telefonů s ukládáním dat ze simulovaných základnových stanic
- Navrhnout způsob monitorování pohybu mobilních telefonů na základě dat ze základnových stanic
- Ověřit návrhy prakticky na modelovém příkladu

## 2 GSM SÍTĚ A JEJICH VYUŽITÍ V DOPRAVĚ

### 2.1 Historie

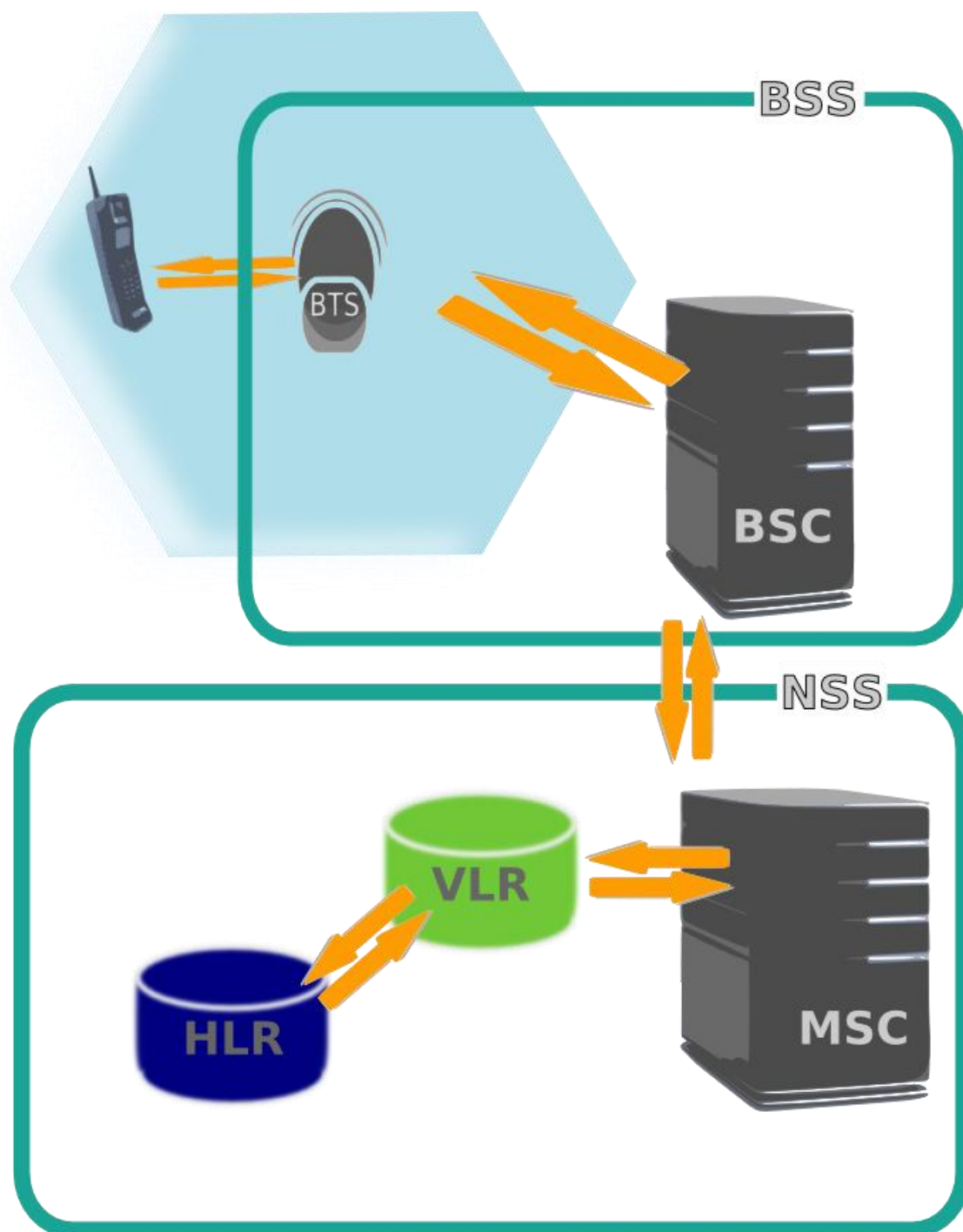
Historie systému GSM sahá do roku 1982, kdy se objevují první analogové systémy, které umožňovaly mobilní komunikaci mezi klienty. Tyto systémy však plošně nepokrývaly dané území a nebyly schopny komunikovat mezi různými okrsky. Tuto nekompatibilitu začalo řešit sdružení Conference of European Posts and Telegraphs, které vytvořilo skupinu Groupe Spécial Mobile (GSM). Systém, který se označuje jako síť první generace, používal do poloviny devadesátých let frekvenční dělení kmitočtového pásma, které každému uživateli přidělovalo určitý rozsah frekvence, který po dobu komunikace patřil výhradně jemu. Ovšem s rostoucím počtem uživatelů a jejich masového využívání přestávalo být frekvenční pásmo dostačující. Začalo se využívat časového dělení kmitočtového pásma, které každému uživateli přiděluje jen určitý časový úsek, po který může službu využívat. Díky tomu může jeden frekvenční kanál využívat více uživatelů.

### 2.2 Princip

Princip fungování systému GSM je založen na pokrytí daného území rádiovým signálem. Toto pokrytí řeší tři základní části.

1. Mobil Station (MS) - Mobilní stanice
2. Base Station Subsystem (BSS) – subsystém základnových stanic
3. Network Switching Subsystem (NSS) – síťový a spínací podsystém

Na následujícím obrázku je zobrazeno rozdělení těchto částí a jejich vzájemná komunikace.



Obrázek 1 - Princip sítě GSM



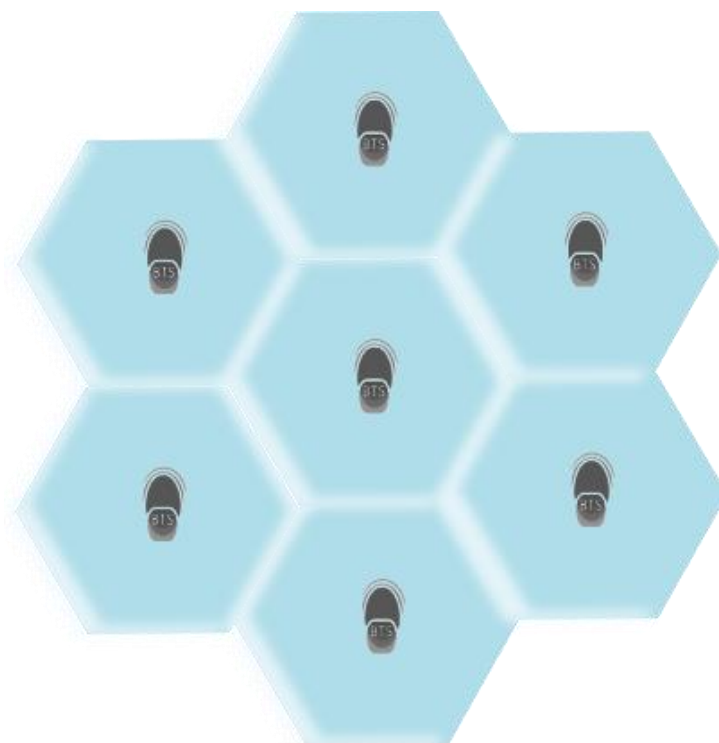
## 2.3 Popis částí systému GSM

### *Mobilní stanice*

Za mobilní stanici se považuje mobilní telefon, umožňující komunikaci v systému GSM. Mobilní telefon je jednoznačně identifikován svým číslem IMEI (International Mobile Equipment Identity). Součástí mobilního telefonu je SIM karta (subscriber identity module), která obsahuje informace o jejím uživateli, IMSI (International Mobile Subscriber Identity) a číslo Ki, což je klíč potřebný pro přihlášení do sítě GSM. Číslo IMEI a IMSI se navzájem nijak neovlivňují a slouží především k identifikaci zařízení. Jsou využívány především při odcizení mobilního zařízení, kdy pak na základě těchto čísel operátor zařízení zablokuje.

### *Subsystém základnových stanic (BSS)*

Tato část systému GSM spravuje základnové stanice BTS. Ty tvoří buňky o velikosti 1-3 km v průměru, ovšem v místech, kde je nízká frekvencovanost uživatelů sítě, může být buňka o velikosti až do 35 kilometrů. Každá buňka je reprezentovaná signálem, kterým základnová stanice pokrývá své území.



Obrázek 2 - Pokrytí základnovými stanicemi

Každý jeden subsystém BSS se skládá z devíti buněk, které toto území pokrývají. Pro jeho realizace se používá dvou základních způsobů.

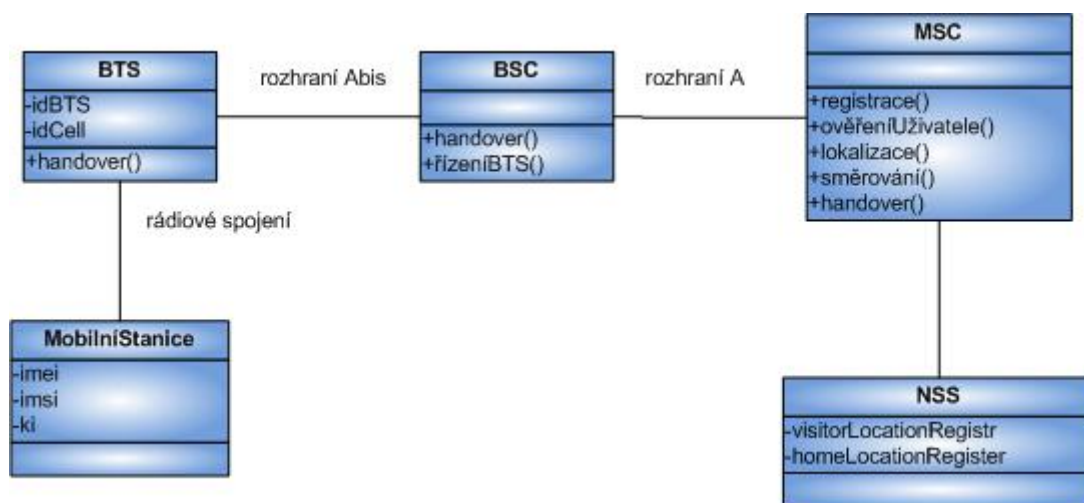
- **9 x 1** – každá buňka obsahuje ve svém středu jednu základnovou stanici. Tento princip je vhodný především do míst, kde dochází k většímu vytížení komunikačního kanálu, a tak se používá především v hustěji zastavěných oblastech.
- **3 x 3** – jedna základnová stanice obsluhuje tři buňky pomocí směrových antén. Takto zřízený systém BSS je vhodný na odlehlá místa, kde potřebujeme vykrýt větší prostor území s nízkým výskytem uživatelů.

Další součástí subsystému BSS, který se stará o řízení jednotlivých BTS je základnová řídicí jednotka (Base Station Controller). BSC je v podstatě základnová stanice BTS s rozšířenou funkcionalitou. Stará se o chod a řízení ostatních BTS v daném subsystému. Přiděluje volné kanály mobilním stanicím, obstarává handover, atp.

#### *Síťový a spínací podsystém (NSS)*

NSS spravuje důležitou komponentu mobilní spínací ústřednu (MSC). Ta zajišťuje registrace uživatele v síti, ověřování, lokalizace polohy v rámci GSM sítě, směrování hovorů apod. NSS dále obsahuje databázi HLR (Home Location Register), ve které jsou údaje o uživateli sítě GSM a databázi VLR (Visitors Location Register), ve které jsou cizí uživatelé sítě.

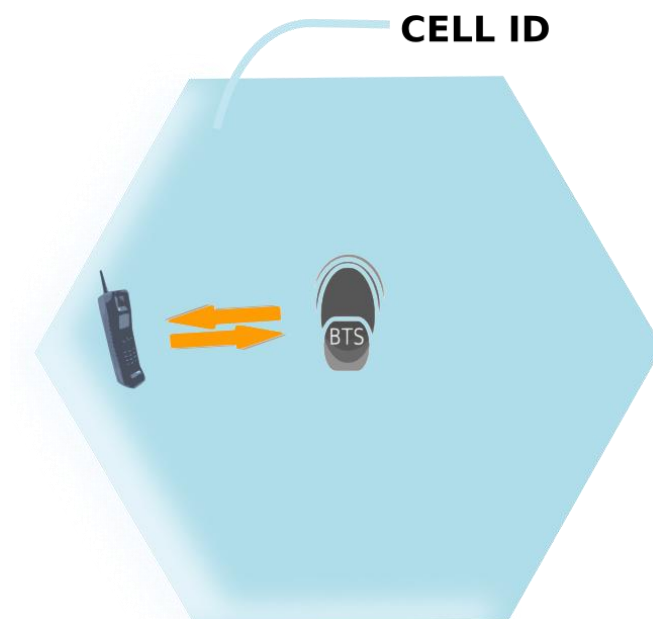
Struktura celého systému je zobrazena v diagramu tříd na obrázku 2, včetně rozhraní, přes které spolu jednotlivé části systému GSM komunikují.



Obrázek 3 - Třídní diagram GSM sítě

## 2.4 Určování polohy v praxi

Pro určování polohy uživatele s mobilním telefonem je využíváno mnoho metod, avšak všechny vycházejí z jediné hlavní metody Cell ID. Jak z názvu vyplývá, tak lokalizace je uskutečňována buňkami GSM sítě. Jestliže uživatel požádá o informaci o poloze, mobilní zařízení pošle žádost do sítě, kde se zjistí informace, z jaké buňky tato žádost přišla a na základě znalosti polohy buňky, pošle informaci o poloze uživatele zpět na mobilní zařízení. Operátor zná rozložení jednotlivých buněk s přesností do 30 metrů, avšak z charakteristiky sítě GSM může buňka nabývat velikosti od stovek metrů až po 35 kilometrový průměr. Velikost těchto buněk závisí na různých parametrech, jako je uživatelská frekventovanost území, zástavba apod. Aby mohlo k lokalizaci dojít, musí být navázána komunikace mezi základnovou stanicí a mobilním telefonem.



Obrázek 4 - Určování polohy metodou CELL ID

## 2.5 Situace u Českých operátorů

### *Vodafone*

Společnost Vodafone možnost lokalizace poskytuje pod názvem Kompas. Tato služba však nenabízí přímo polohu uživatele, ale zájmové body v jeho okolí.

Dále se podílí na projektech jako je GPS/GSM navigační systém pro nevidomé, který umožňuje lokalizaci a navigaci pro nevidomé při ztrátě orientace. Zde však pro přesné určení polohy využívá systému GPS a síť GSM zde slouží pouze pro přenos hlasu a dat, které jsou odeslány do navigačního call centra.

### *T-Mobile*

Operátor T-mobile nabízí dvě možnosti lokalizace. T-Mobile Navigator a T-Mobile Locator. Služba Navigator zájemci o informace zašle SMS zprávu, která obsahuje zeměpisné souřadnice a slovní popis polohy kraj, okres, obec.

Služba Locator umožňuje zjistit polohu dalších uživatelů sítě a navíc k ukazateli polohy připojuje mapový podklad. Výhodou je, že data mohou být předána buď klasickou SMS, nebo formou binární SMS, díky které lze data jednoduše zpracovávat počítačem.

### *Telefónica O2*

Tento operátor poskytuje službu zvanou Cell Info, která vysílá sms zprávy z buněk základnových stanic, ve kterých se vyskytují informace typu název města, název oblasti, stanice metra apod. Informace jsou uživateli zaslány na mobilní telefon a zobrazeny přímo na displeji

## 3 ZVOLENÁ METODA ŘEŠENÍ

Protože metoda lokalizace v síti GSM nedosahuje příliš velké přesnosti, řádově ve stovkách metrů, byla by chyba v lokalizaci pohybu na dálnici, která by vznikala, příliš velká. Avšak chceme-li lokalizovat účastníka při jeho pohybu, je možné použít procesu handover.

### 3.1 Handover

Tento proces nastává při přechodu uživatele s mobilním telefonem z jedné buňky do vedlejší. Přichází-li uživatel na hranici jedné buňky, kdy už slábne její signál, tak zcela automaticky je přeladěn na buňku vedlejší, se silnějším signálem. Mobilní stanice stále udržuje kontakt s okolními buňkami a vyhodnocuje jejich sílu signálu. BTS, které jsou v dosahu, pak informují ústřednu, která rozhodne, jestli má účastníka přeladit na další buňku. V praxi nastává několik možných druhů handoveru.

#### a) Podle místa, kde může nastat handover:

- *Vnitrobuňkový handover*

Nastává v jedné a té samé buňce pokud dojde k uvolnění lepšího kanálu

- *Mezibuňkový handover*

Automatické přeladění mobilní stanice při přechodech přes hranice buněk

#### b) Podle rozhodování, kdy může nastat handover:

- *Handover řízený sítí (Network Controlled HandOver - NCHO)*

Mobilní stanice vyšle kontrolní signál na okolní BTS. Ústředna poté vyhodnotí kvalitu signálu a přidělí mobilní stanici pro ní nejlepší buňku.

- *Handover řízený za spoluúčasti mobilní stanice (Mobile Assisted HandOver - MAHO)*

V metodě MAHO mobilní stanice měří koeficient poměru signál/šum z okolních BTS a pošle jej na ústřednu. Ta má k dispozici i data naměřená samotnými BTS, ale jako rozhodující jsou pro ni informace z mobilní stanice. Tento handover je využit v sítích GSM

- *Handover řízený mobilní stanicí (Mobile Controlled HandOver - MCHO)*

Tato metoda se spoléhá na rozhodování jen mobilní stanice, která po změření okolních BTS sama rozhodne, která je pro ni nejlepší

### **c) Podle přepínání mezi buňkami**

- *Hard handover*

U tvrdého handoveru se mobilní stanice nejprve odpojí od staré buňky a pak až dojde k připojení k buňce nové. Tento handover se využívá v síti GSM

- *Seamless handover*

Tento druh handoveru se neodpojí od původní buňky, dokud si nevytvoří nové spojení.

- *Soft handover*

Zde je stanice neustále připojena nejméně ke dvěma základnovým stanicím. Její využití je především v systémech třetí generace

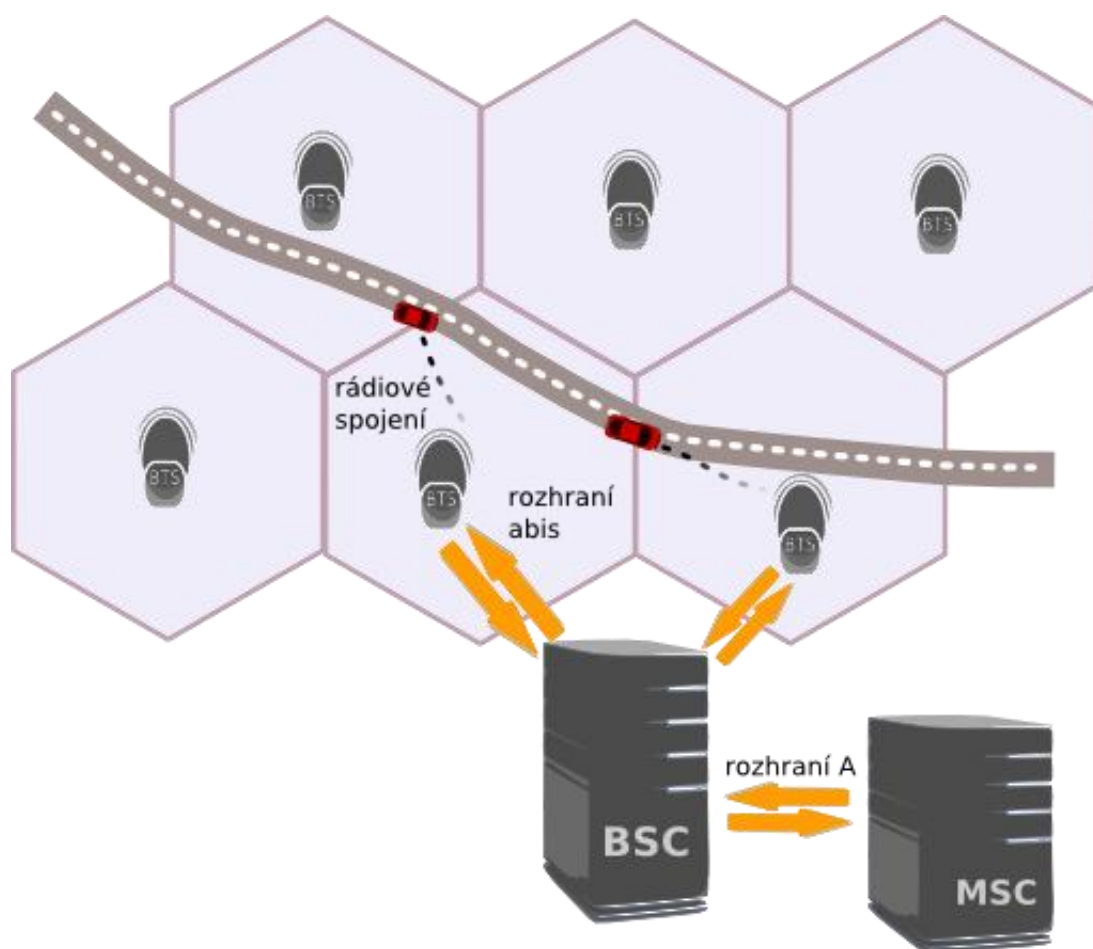
## 3.2 Data poskytovaná BTS

Aby bylo možné vyhodnocovat pohyb mobilních telefonů, musí být získána data poskytovaná základnovými stanicemi. Struktura dat je následující.

- CH - použitý komunikační kanál
- CellId – identifikátor buňky, je jedinečné pro daný LAC
- LAC – kód oblasti
- RX level – síla signálu uváděná v dBm
- C1 – síla signálu/prahová hodnota sítě
- CRO – zvýhodňuje buňku proti ostatním
- BSIC kód – rozlišuje buňky na stejném kanále
- TA – časový předstih

Aby bylo možné uživatele lokalizovat, musí být k těmto informacím připojen časový aspekt, tedy přesný čas, kdy se uživatel hlásí k dané CID. Tato schopnost je využita v této diplomové práci. V praxi je tato hranice nazývaná *handover*. Jestliže tedy získáme místo, kde k *handoveru* dochází a víme, kdy k němu dochází, můžeme určit vzdálenost dvou bodů a časový rozdíl mezi jejich dosažením.





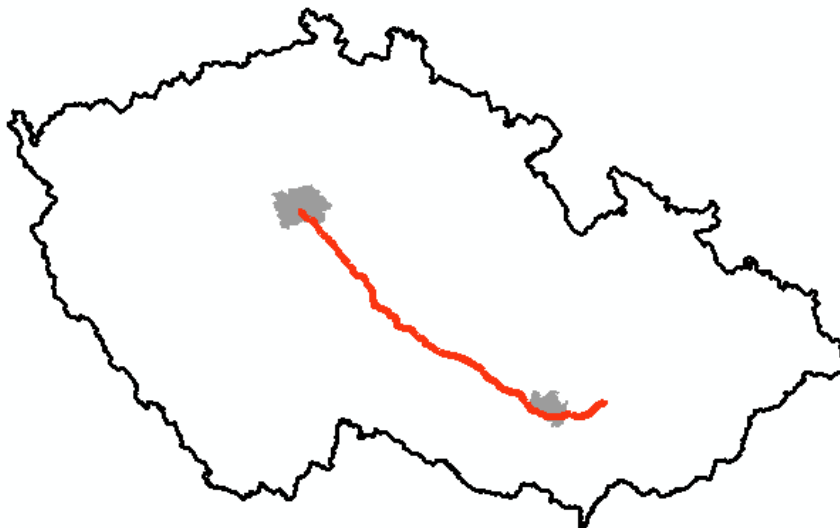
Obrázek 5 - Princip lokalizace pomocí Handoveru

Nepřesnost, která tedy může být zanesena do lokalizace, spočívá ve spuštění *handoveru* později, než na této hranici a je inicializována metoda tzv. *Emergency handover*, která může účastníka přehazovat na následující buňku až 30 sekund, dle nastavení operátora.

Vlastníkem těchto dat je pouze provozovatel mobilní sítě a nezveřejňuje je z důvodu jak bezpečnosti, tak i možnosti návaznosti dalších služeb s nimi spojenými. Proto v této práci budou data generována simulátorem pohybu mobilních telefonů po dálnici a následně zpracovávána aplikací pro jejich monitorování.

## 4 POPIS METODY SIMULACE DAT

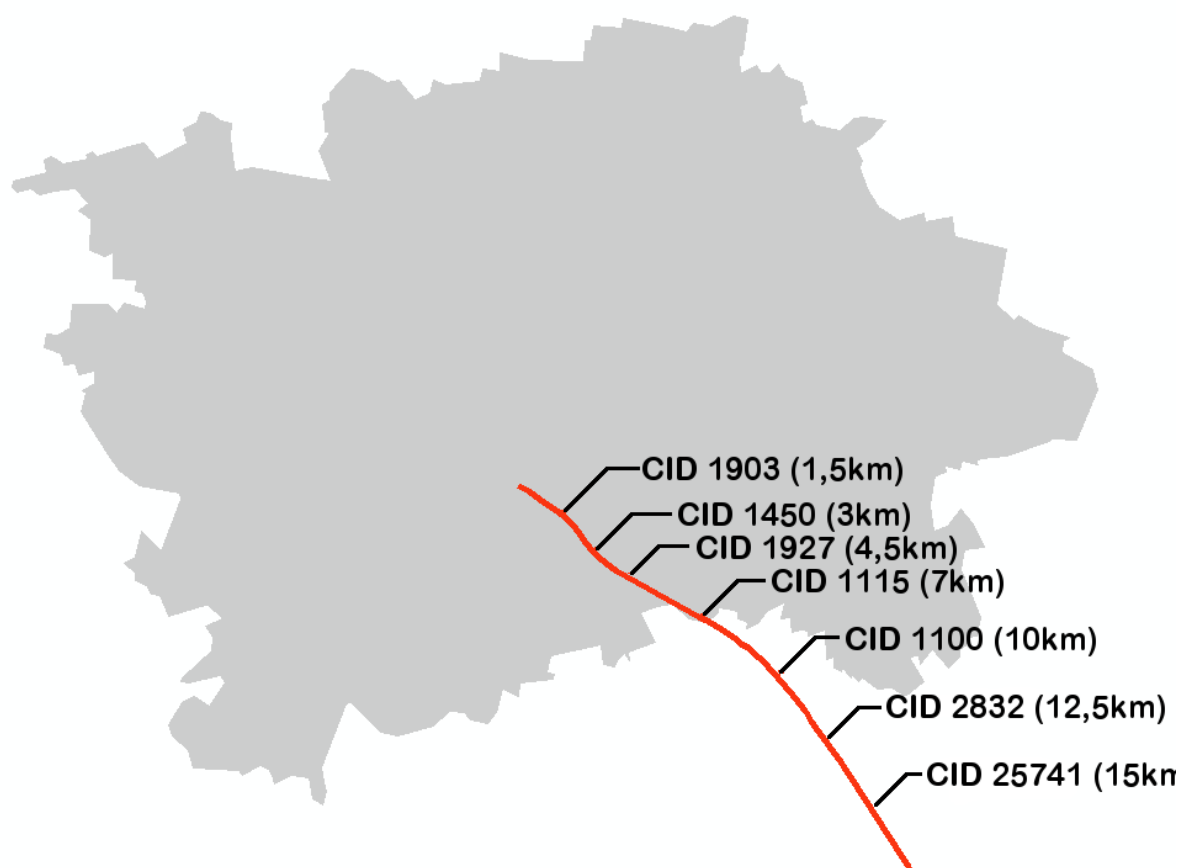
Data pro návaznou monitorovací aplikaci jsou vztažena pro dálnici D1. Na tomto více než 200 kilometrovém úseku se nachází více než 60 základnových stanic.



Obrázek 6 - Dálnice D1

Aby bylo možné simulovat polohu vozu na dálnici, je nutné znát polohu základnových stanic, které svým signálem pokrývají úseky dálnice. Tato data byla získána prostorovým dotazem ze serveru <http://gsmweb.cz/>. Tento server se zabývá vyhledáváním polohy základnových.

Pro zjednodušení jsou data simulována pro počáteční 15 kilometrový úsek ve směru Praha – Brno. Tato část dálnice byla vybrána pro dostatečnou hustotu základnových stanic.



Obrázek 7 - Vybraný úsek dálnice D1

Cid	Lac	Bch	na [km]	Umístění
1903	18218	55	1,5	D1 - Praha 4 - Chodov
1450	18218	57	3	D1 - Praha 4 - Chodov
1927	18218	107	4,5	D1 - Praha 4 - Újezd (příhradový stožár poblíž McDonald"s)
1115	18218	115	7	D1 - Doubravice (stožár s reklamou)
1100	18218	60	10	D1 - Nupaky (budova firmy Czech Intercargo)
2832	18228	103	12,5	D1 - Jažlovice
25741	18218	57	15	D1 - Všechromy (příhradový stožár)

Tabulka 1 - Umístění základnových stanic

## 4.1 Simulace pohybu

Simulátoru se nastaví počet vozů, pro které má simulovat pohyb a ten pak přiřazuje ke každému vozu generované hodnoty. Tyto data jsou reprezentována dvojrozměrným polem, kde řádky reprezentují generované vozy a sloupce trasu, po které se vozy pohybují.

Do jednotlivých sloupců se vkládá denní doba, ve které se vůz v tomto místě nachází. Tato doba je spočtena z délky daného sektoru a rychlosti jakou se vůz pohybuje, plus hodnota T, která udává čas, kdy vůz na dálnici vjel v rozsahu 00:00 až do 24:00. Výsledná hodnota, která se ukládá, je spočtena dle vzorce:

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} + T$$

Protože by mohlo dojít ke generování denní doby, která ještě nenastala, kontroluje simulátor každý spočtený čas s časem PC a počítá pouze s hodnotami nepřesahující tento aktuální čas.

## 4.2 Simulace havárie

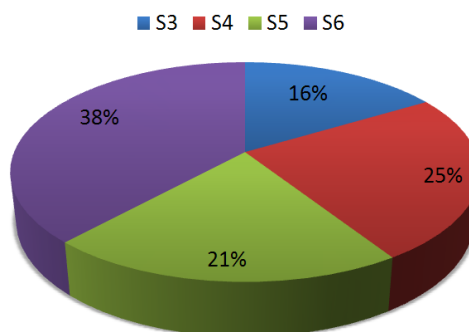
Aby simulátor co možná nejlépe odpovídal skutečné realitě, byla simulace havárie na dálnici generována na základě skutečných havárií v tomto úseku dálnice D1. Tato data se vztahují k roku 2006 a na svých webových stránkách je poskytuje ministerstvo vnitra České Republiky. Z veškerých poskytovaných statistik, byla vybrána pouze ta data vztahující se k nehodovosti na dálnici D1 v zájmovém 15 kilometrovém úseku. Poté byl kvantitativní výčet počtu nehod převedena na procenta a kumulativní procentuální vyjádření.

Nehodovost na dálnicích v České republice po kilometrových úsecích v roce 2006						
	ve směru Praha-Brno		Odpovídající sektory	nehody v sektorech	nehody v sektorech	
Číslo dálnice	počet nehod	km	počet nehod	počet nehod	Pravděpodobnost Nehody[%]	pravděpodobnost Nehody kumulace[%]
1	6	5	S3	18	16,4	16,4
1	11	6				
1	12	7				
1	10	8	S4	27	24,5	40,9
1	9	9				
1	29	10				
1	16	11	S5	23	20,9	61,8
1	14	12				
1	4	13	S6	42	38,2	100
1	11	14				
1	14	15				

Tabulka 2 - Nehodovost na dálnicích

Z obrázku 7 je patrné, že nejvyšší nehodovost je v sektoru S6 a pravděpodobnost nehody je zde 38% z celkové pravděpodobnosti nehody. Nejméně nehod se pak stává v sektoru S3.

### Nehodovost na dálnicích v České republice po sektorech v [%]



Obrázek 8 - Nehodovost na dálnicích

Protože nehoda se může stát nejen kdekoli na dálnici, ale i kdykoli, simulátor generuje rovněž čas této havárie. Vozy, které se pohybují po dálnici v čase, který je ještě před simulovanou nehodou, mohou bez problému projet a ty vozy, které trasu projíždějí až po čase nehody, se buďto přestanou pohybovat úplně, nebo pouze zpomalí na podstatně nižší rychlost. Tuto část řeší poslední metoda simulace havárie.

## 4.3 Uložení do databáze

Takto generovaná data se ukládají do databáze, kde jsou připravena pro návaznou aplikaci. Databázový systém pro tuto práci byl vybrán MySQL, který je vhodný pro svou multiplatformnost a volnou šířitelnost. Dále je možné se na ní dotazovat jazykem SQL.

Struktura takto vzniklé databáze je uvedena v tabulce 3, kde jednotlivým atributům, jež reprezentují jednotlivé sektory vybraného úseku dálnice D1, je přiřazena hodnota času, ve kterém se vozidlo, potažmo mobilní telefon, nacházejí v dané buňce.

S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
t00	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17
t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27
t30	t31	t32	t33	t34	t35	t36	t37
...	...	...	...	...	...	...	...
tn0	tn1	tn2	tn3	tn4	tn5	tn6	tn7

Tabulka 3 - Struktura databáze

Aby jednotlivé vozy bylo možné identifikovat, je ke každému záznamu generován jedinečný klíč.

## 4.4 Uložení do souboru

Protože by uživatel neměl přístup k takto vzniklé databázi, aplikace tento vygenerovaný pohyb exportuje rovněž do textového souboru. Pokaždé, když si uživatel spustí simulátor, jsou vygenerovaná data uložena do souboru data.txt v adresáři, kde simulátor spouštěl.

Simulátor provádí operace s časovými hodnotami ve formátu sekund, proto jsou pro lepší orientaci v datech hodnoty simulátoru převedeny ze sekund na formát HH:MM:SS.

Přepočet na sekundy je proveden následujícím algoritmem.

Do metody pro přepočet je vložena požadovaná hodnota, např. 10 000 sekund.

Hodiny jsou definovány jako celočíselný výsledek dělení konstantou 3600, tedy:

$$10\,000/3600 = 2h$$

Minuty jsou získány jako celočíselný výsledek dělení konstantou 60, od kterého je odečten 60-ti násobek hodnoty hodin, tedy:

$$10\,000/60 - 2 \times 60 = 46m$$

A nakonec sekundy jsou získány jako zbytek po celočíselném dělení konstantou 60 a vynásobeny číslem 60, tedy:

$$(10\,000 \% 60) \times 60 = 40s$$

Kontrola:

$$2 \times 60 \times 60 + 46 \times 60 + 40 = 10\,000s$$

## 5 POPIS METODY ANALÝZY DAT

### 5.1 Definice označení úseku

Před popisem aplikace pro monitorování dat je nutné nejprve objasnit popisky jednotlivých částí trasy.

Trasa je zobrazena na přímce, kde sektor S s indexem „0“ označuje vjezd na trasu a hodnota sektoru je 0 metrů. Další sektory nesou reálné vzdálenosti, mezi svými hranicemi, které jsou definované handoverem. Tedy  $S_1$  až  $S_7$ .

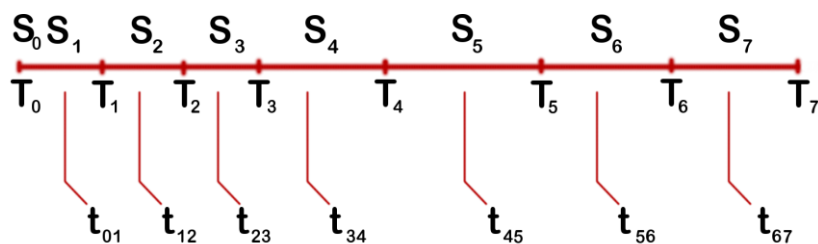
Označení úseku	Délka úseku[m]
0	Vjezd na dálnici
1	1500
2	1500
3	1500
4	2500
5	3000
6	2500
7	2500

Tabulka 4 - Délky sektorů



Časy  $T_0$  až  $T_7$  představují denní dobu 0:00:00 až 23:59:59, ve které se vůz nachází na hranici mezi určitým sektorem.  $T$  s indexem „0“ zde opět reprezentuje čas, kdy vůz vjíždí na dálnici. Pod označením  $t_{01}$  až  $t_{67}$  nalezneme čas potřebný k průjezdu daným sektorem. Suma těchto časů je rovna celkovému času, který je nutný na projetí celé sledované trasy.

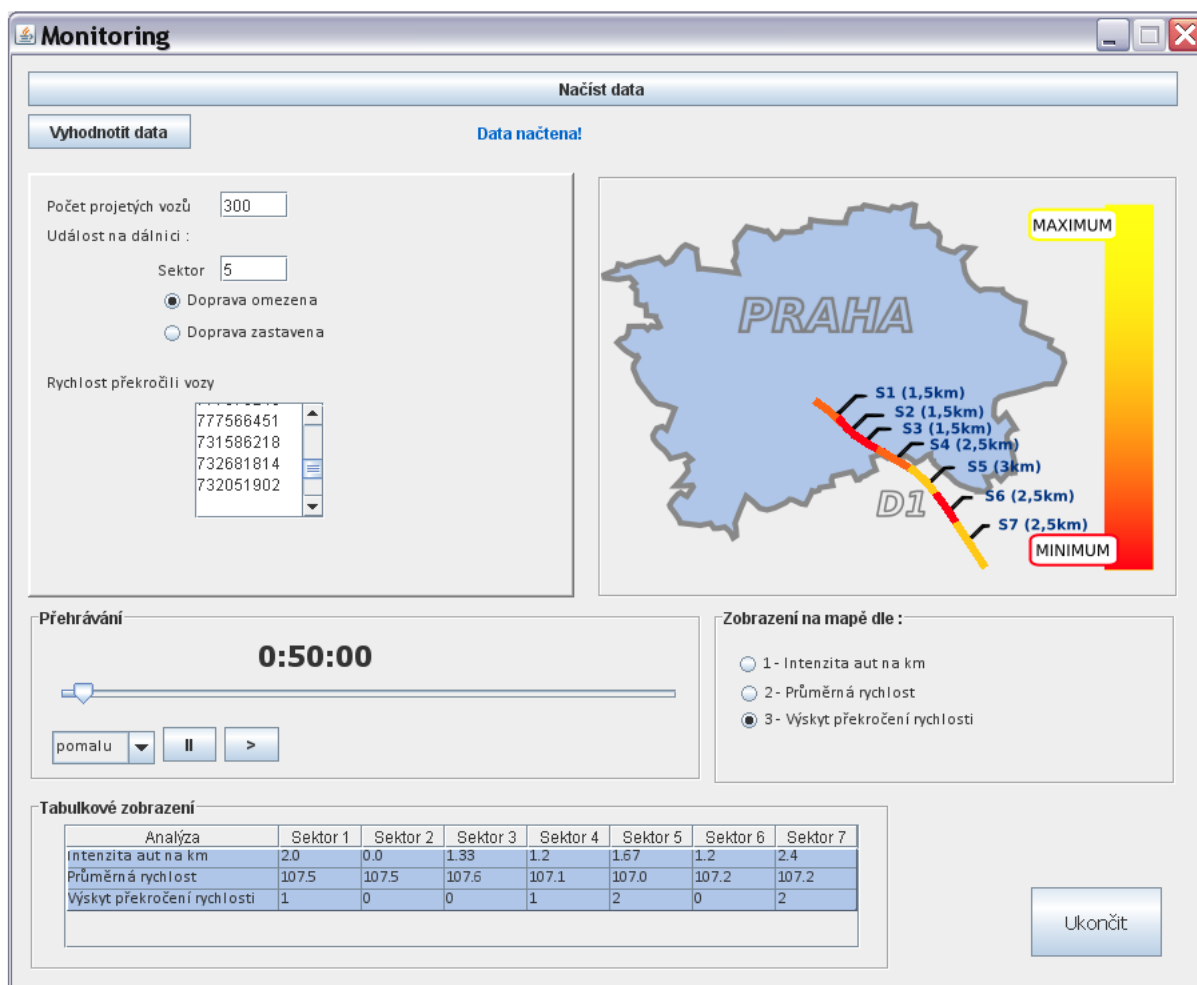
$$\text{celkový čas} = \sum_{n=0}^7 (t_n)$$



Obrázek 9 - Označení sektorů

## 5.2 Grafické rozhraní

K monitorování zaznamenaných simulovaných dat slouží program, využívající grafické uživatelské rozhraní (GUI). Na hlavním formuláři je umístěno několik funkčních komponent, které zpracovávají a zobrazují výsledky. Návrh grafického rozhraní je proveden v NetBeans GUI Builder.



Obrázek 10 - Grafické rozhraní

Program je rozdělen do 5 částí. Nejprve je nutné načíst data z databáze, která zde uložila aplikace simulující pohyb automobilů. Tato data jsou uložena na školní databázi mySQL, proto přístup pomocí aplikace pro monitorování pohybu, je možný pouze ze školní sítě.

K připojení poslouží tlačítko *Načíst data*, které provede připojení k databázi MySQL a přečte jednotlivé záznamy po řádcích, dokud nedojde až na konec. Takto získaná data si uloží do dvojrozměrného pole, kde jsou uchována pro následné zpracování. Pokud se připojení úspěšně povedlo, aplikace to oznámí informací *Data Načtena!* V opačném případě program oznámí, že *Data nebyla načtena!*.

Další funkční tlačítko *Vyhodnotit data*, provede všechny potřebné operace pro zjištění počtu vozů na dálnici. Jestli došlo k omezení provozu a kde a jestli se na dálnici vyskytují vozy, které se pohybují vyšší, než je povolená rychlost. Všechny tyto informace jsou zobrazeny na panelu pod tímto tlačítkem.

Další panel obsahuje mapu prahy a vybraný dálniční úsek. Tento úsek byl získán ze silniční sítě České Republiky a rozdělen na sektory podle pokrytí základnovými stanicemi a následně vyexportován do formátu svg. Těmto sektorům je následně přiřazována barva odpovídající:

1. Intenzitě aut na kilometr
2. Průměrné rychlosti
3. Výskytů překročení rychlosti

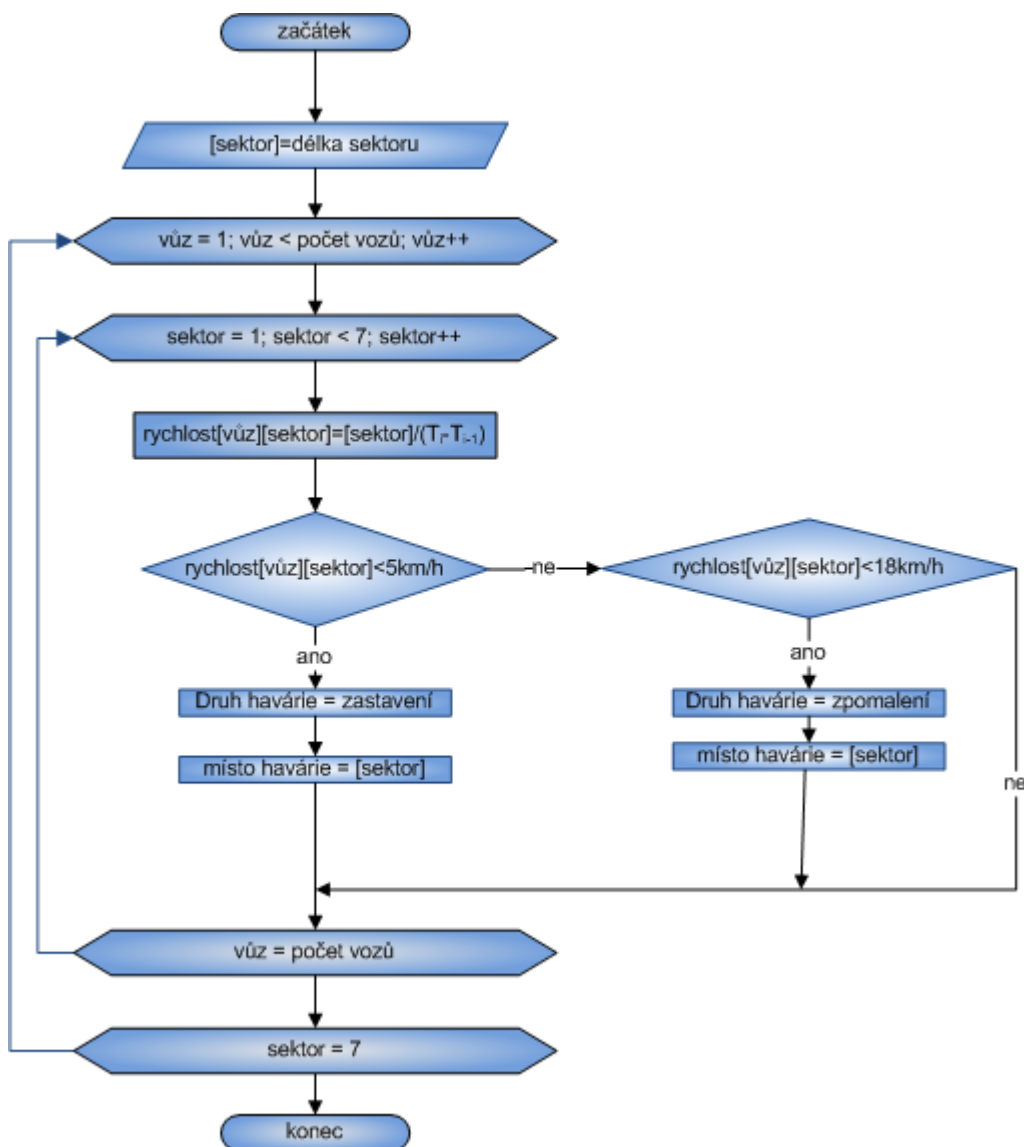
Mezi analýzami je možné volit na panelu umístěném pod mapou.

Pro lepší vizualizace je v programu umístěn časovač, kterým může uživatel zjistit situaci v určitou denní dobu, nebo využít automatického přehrávání dvěmi rychlostmi. Časovač je vždy nastaven na aktuální čas.

Ve spodní části aplikace se nachází tabulka, ve které jsou automaticky vypisovány vypočtené hodnoty pro jednotlivé sektory. Tyto hodnoty odpovídají výsledkům analýz vykreslovaných na mapě.

### 5.3 Zjištění havárie

Jestli někde na trase došlo k havárii je kontrolováno pomocí algoritmu, který je uveden na obrázku 11. Program postupně prochází všechny záznamy a vždy vezme čas  $T_i$  a odečte od něj čas  $T_{i-1}$ . Takto zjištěný čas  $t_{i-1,i}$  pak počítá, s hodnotou sektoru  $S_i$  a zjišťuje, jakou rychlostí se vůz pohybuje. Pokud je tato rychlost nižší, než 5 kilometrů za hodinu, uloží si místo sektoru, ve kterém toto rychlostní omezení trvá a označí tento sektor za místo, kde došlo k havárii se zastaveným provozem. Pokud je rychlost průjezdu menší než 18 km/hod, pak je sektor označen za místo se zpomaleným provozem. Obě možnosti omezení provozu jsou uživateli zobrazeny.



Obrázek 11 - Algoritmus Druh havárie

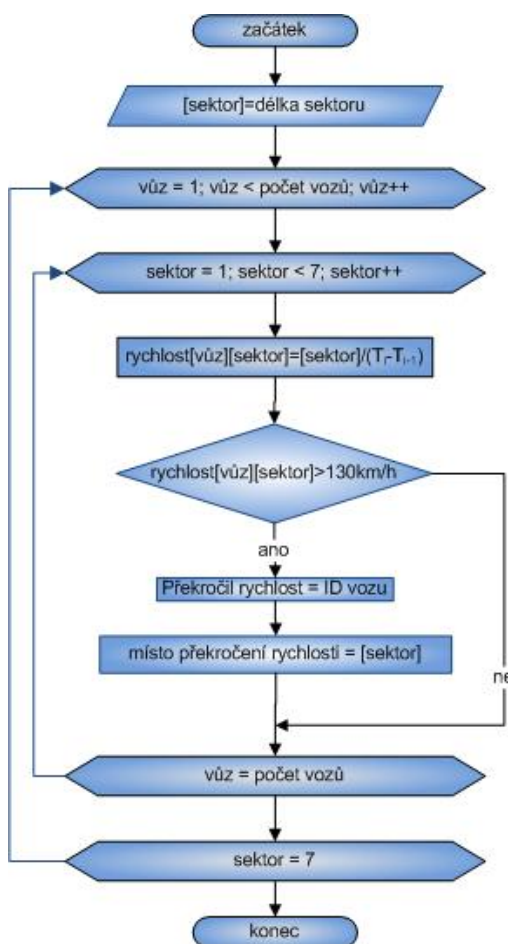
## 5.4 Překročení rychlosti

Protože metoda lokalizace účastníka s mobilním telefonem za pomoci handoveru umožňuje získání místa a času přechodu, je možné tohoto aspektu využít ke změření rychlosti pohybu po linii, v tomto případě po dálnici.

Pokud sledovaný vůz překročí povolenou rychlost a handover nastane správně, pak je tento přestupek odhalen. Při zpoždění handoveru vůz není odhalen.

V opačném případě, kdy vůz rychlost nepřekročí a dojde k chybě handoveru, se rychlost vozu snižuje, a tak nemůže dojít k mylnému označení překročení rychlosti.

Princip vyhodnocení překročení rychlosti na obrázku 12 je obdobný, jako u zjišťování omezení provozu, ovšem v tomto případě se zaznamenávají identifikátory vozů, které překročili rychlost 130 kilometrů za hodinu.



Obrázek 12 - Algoritmus Překročení rychlosti

## 6 VÝBĚR PROGRAMOVÝCH PROSTŘEDKŮ PRO ZPRACOVÁNÍ

### 6.1 NetBeans

K vytváření samotné aplikace bylo použito programového vybavení NetBeans IDE ve verzi 6.0.1.

Jde o úspěšný Open Source projekt s velmi rozsáhlou uživatelskou základnou. Firma Sun Microsystems založila Open Source projekt NetBeans v červnu 2000 a je zároveň i hlavním sponzorem celého projektu.

Vývojové prostředí NetBeans IDE je nástroj, pomocí kterého programátoři mohou psát, překládat a ladit aplikace. Vývojové prostředí je vytvářeno v jazyce Java - ale může podporovat jakýkoliv programovací jazyk. Kromě toho také existuje velké množství modulů, které toto vývojové prostředí rozšiřují. Vývojové prostředí NetBeans je bezplatně šířený produkt, který je možné používat bez jakýchkoliv omezení.

Produkt je vyvíjen pod licencí Open Source a je možné jej bezplatně používat v komerčním i nekomerčním prostředí. Zdrojový kód je dostupný pod licencí Common Development and Distribution License (CDDL) [3].

### 6.2 ArcGIS 9.1

K pomocným pracím jako je vytváření mapových podkladů, exportování vektorových vrstev do formátů svg apod., je využíván program ArcGis ve verzi 9.1

### 6.3 MySQL

Při zpracování této kapitoly jsem čerpal z [4]. Jedná se o databázový systém, vytvořený švédskou firmou MySQL AB. Jeho hlavními autory jsou Michael Widenius a David Axmark. Je k dispozici jak pod bezplatnou licencí GPL, tak pod komerční placenou licencí. MySQL je multiplatformní databáze. Komunikace s ní probíhá pomocí jazyka SQL.

MySQL je optimalizováno především na rychlost za cenu některých zjednodušení: má jen jednoduché způsoby zálohování, a až donedávna nepodporovalo pohledy, trigger, a uložené procedury. Tyto vlastnosti jsou doplňovány teprve v posledních letech.

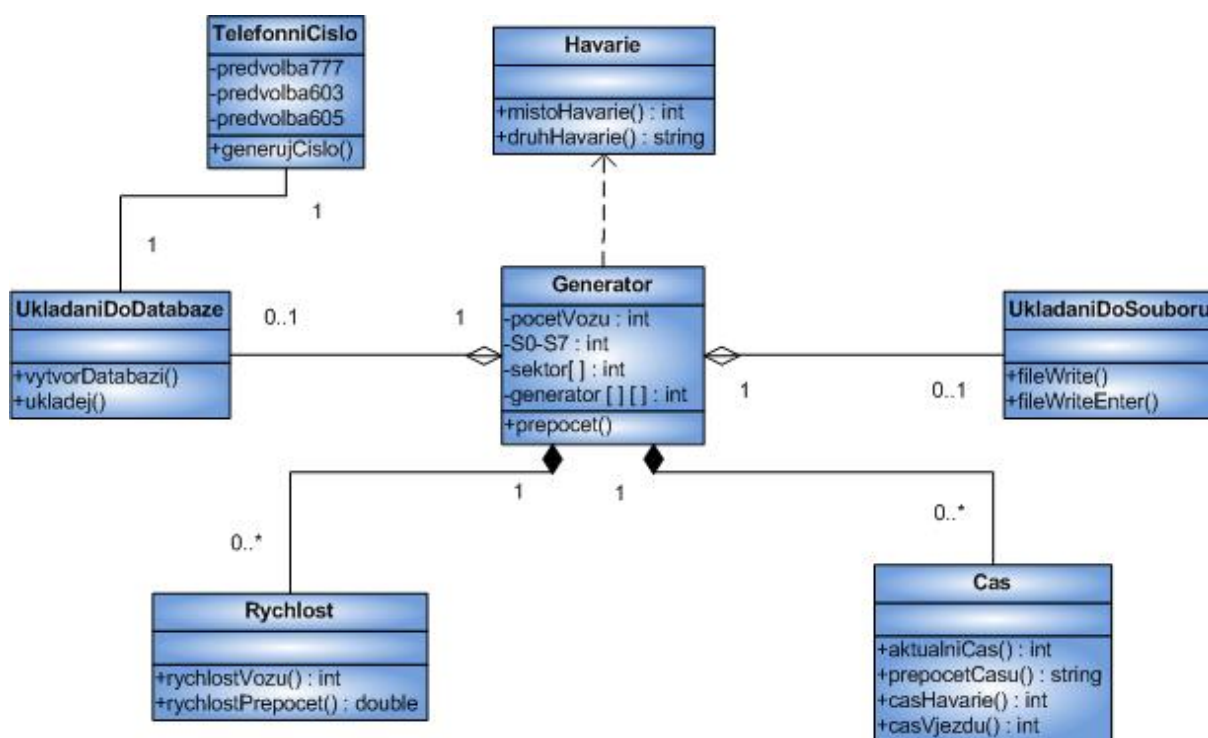
Přehled podporovaných vlastností:

- cizí klíče (od verze 3.23 podporovány v tabulkách typu InnoDB)
- transakce (od verze 3.23 podporovány v tabulkách typu InnoDB)
- podpora různých znakových sad a časových pásem v datech (od verze 4.1)
- poddotazy (od verze 4.1)
- uložené procedury (od verze 5.0)
- triggerů (od verze 5.0)
- pohledy (od verze 5.0)

## 7 SAMOTNÉ ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY

### 7.1 Struktura simulátoru

Struktura simulátoru je vyobrazena v obrázku 12 na třídním diagramu. Hlavní třída Generator zpracovává hodnoty získané metodami z tříd Havarie, Rychlost a Cas. Výsledné časy ukládá do souboru a do databáze. K tomu slouží třídy UkladaniDoSouboru a UkladaniDoDatabaze. Třída TelefonniCislo ke každému záznamu přidá atribut telefonniCislo, které generuje ke zvolené předvolbě.



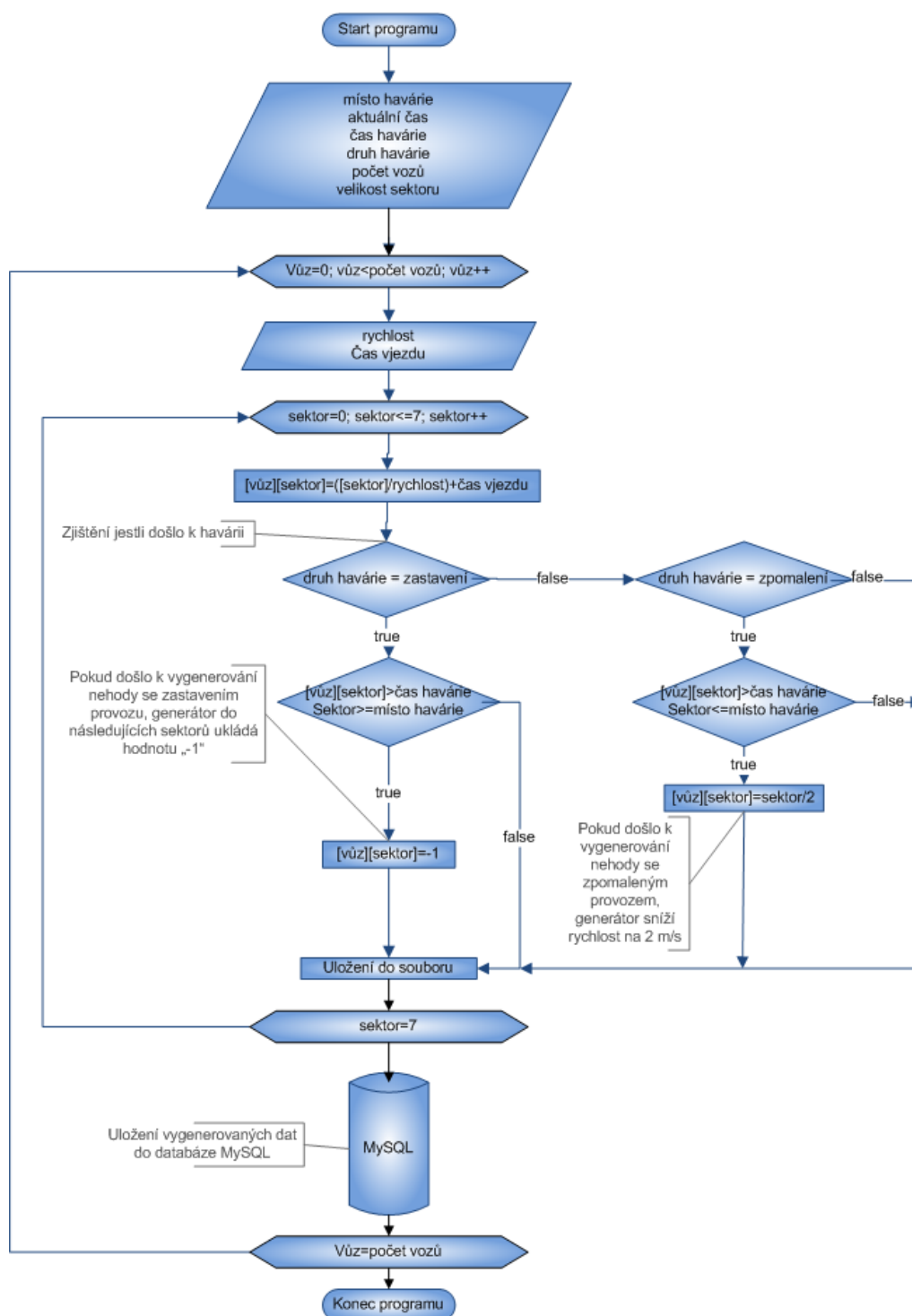
Obrázek 13 - Class diagram simulace

### 7.2 Průběh simulace

Celý průběh programu pro simulaci je patrný z algoritmu na obrázku 13. Po spuštění se nejprve zjistí informace o místě a času havárie, druhu havárie, aktuální čas a počet vozů, pro které se budou časy simulovat. Následně je spuštěn cyklus. Pro první automobil se vygeneruje rychlost a čas vjezdu na dálnici. Do jednotlivých sektorů se ukládají spočtené časy, přičemž pokaždé se ověřuje, jestli tento čas je vyšší, než čas havárie. To by znamenalo, že vůz se na



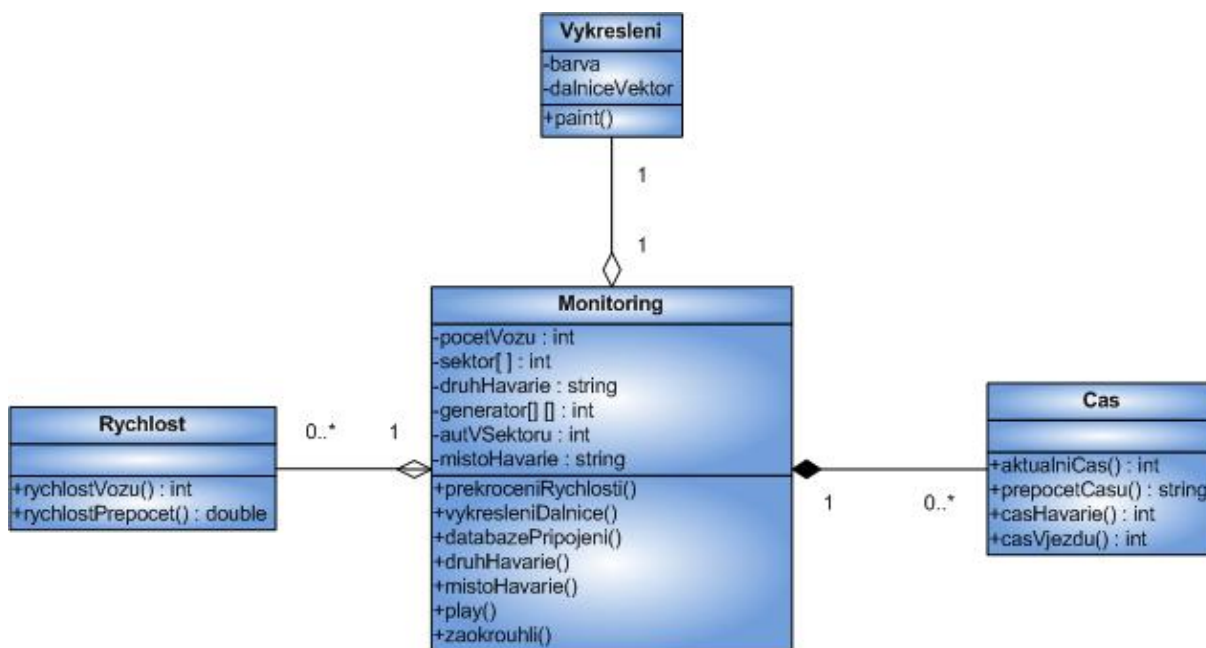
dálnici nachází po čase nehody a bude jí ovlivněn. Rychlost vozu může být změněna na 2km/h v případě zpomalení provozu, nebo úplně zastaví pokud je provoz celkově zastaven.



Obrázek 14 - Algoritmus simulátoru

## 7.3 Struktura aplikace pro analýzu

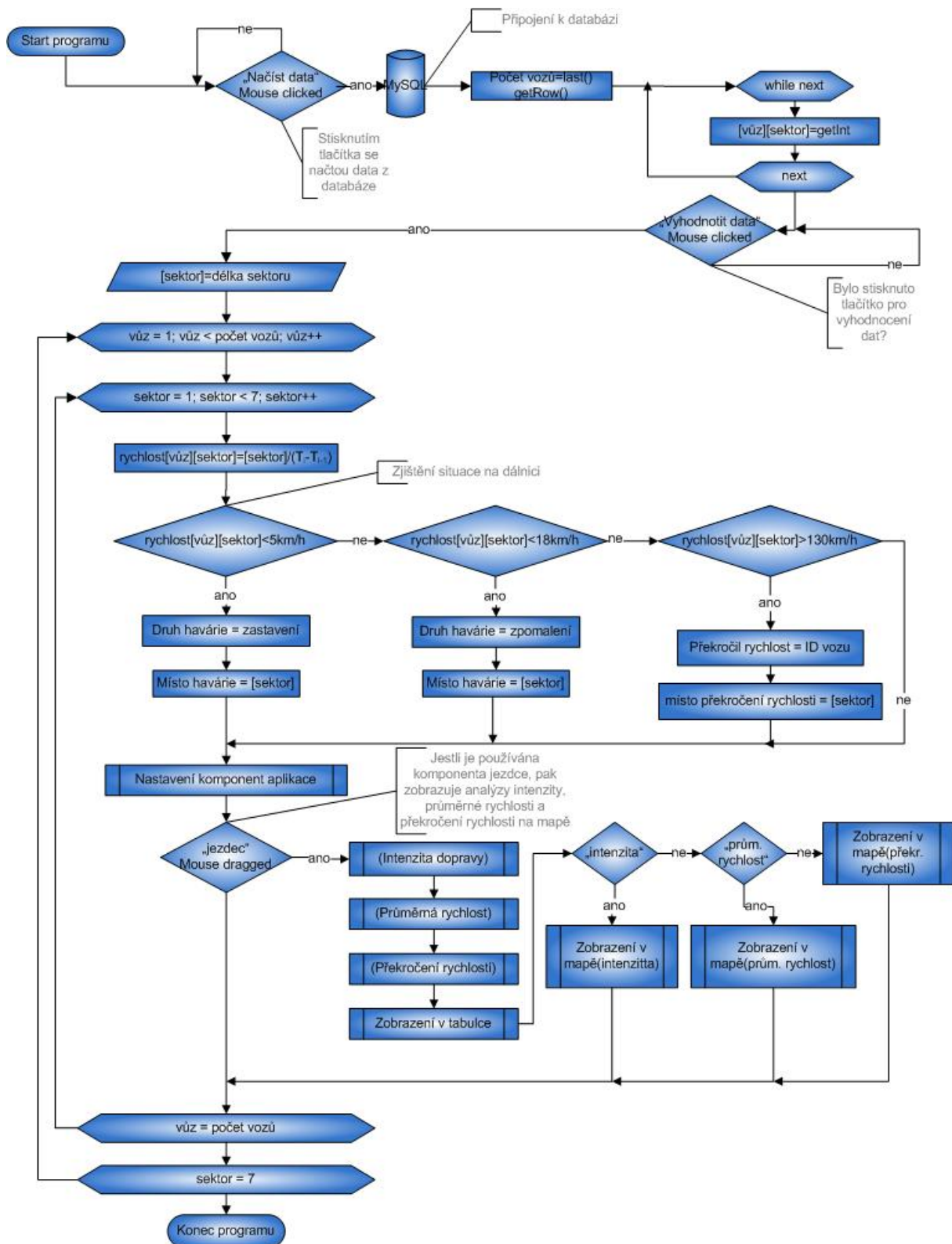
Aplikace je složena ze 4 tříd. Třída Rychlost stejně jako u aplikace pro simulování pohybu přepočítává rychlost z metrů za sekundu na kilometry za hodinu. Třída čas se stará o přepočty časů, ukládání časů apod. Ve třídě Monitoring probíhají veškeré výpočty a analýzy, které jsou následně poslány do třídy Vykreslení, kde v metodě paint dojde ke zobrazení sektorů dálnice s odpovídající barvou.



Obrázek 15 - Class diagram Monitoring

## 7.4 Průběh aplikace pro analýzu

V algoritmu na obrázku 15 je zobrazen průběh programu pro monitorování pohybu na dálnici. Při spuštění je uživateli nabídnuto grafické rozhraní s několika tlačítky a přepínači. Když uživatel načte data z databáze a nechá je vyhodnotit, program automaticky projde všechny data a vypisuje výsledky do odpovídajících komponent programu. Tyto výsledky obsahují informace o omezení provozu, zastavení provozu a účastnících provozu, který překročili rychlost. Další možností je, aby se uživatel podíval na situaci během celého dne pomocí komponenty „jezdec“ a nechal si zobrazit analýzy o intenzitě dopravy, průměrné rychlosti a překročení rychlosti. Tyto informace jsou průběžně vypisovány do tabulky, nebo je vždy jedna zvolená analýza vykreslena na mapu. Program končí po stisknutí tlačítka „konec“.



Obrázek 16 - Algoritmus aplikace pro analýzu

## 8 OVĚŘENÍ VÝSLEDKŮ NA UKÁZKOVÉM PŘÍKLADĚ

V této kapitole je proveden názorný modelový příklad, ve kterém se porovnávají hodnoty pohybu vygenerované a hodnoty monitorované a následně provedena kontrola odlišností.

### 8.1 Simulace pohybu

Aplikace simulátor nejprve vygeneruje pro každý jednotlivý vůz rychlost a denní dobu, kdy vjede na dálnici. Z těchto hodnot se spočtou časy  $T_0-T_7$ , které odpovídají denní době v sekundách, kdy vůz přejíždí z jedné buňky do druhé. Pro následující názorný příklad se simuluje pohyb 15 vozů, ke kterým je vygenerováno mobilní číslo.

ID	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	tel
1	50448	51240	52032	52824	54145	55730	55801	55872	732785788
2	42298	43108	43918	44728	46078	47698	47798	47898	732391908
3	39449	39487	39525	39563	39627	39703	39767	39831	777660033
4	48077	48872	49667	50462	51787	53377	53452	53527	777393501
5	57989	58814	59639	60464	61839	63489	63614	63739	732825927
6	62292	63092	63892	64692	66025	67625	67708	67791	731441328
7	14135	14195	14255	14315	14415	14535	14635	14735	731885113
8	21263	21309	21355	21401	21479	21572	21650	21728	731054493
9	62893	63718	64543	65368	66743	68393	68518	68643	777875769
10	16850	16903	16956	17009	17098	17205	17294	17383	777851190
11	65125	65917	66709	67501	68822	70407	70478	70549	777189471
12	46426	47229	48032	48835	50174	51781	51870	51959	731221819
13	25245	25307	25369	25431	25535	25660	25764	25868	732849189
14	50623	51411	52199	52987	54301	55877	55941	56005	731966758
15	44039	44829	45619	46409	47726	49307	49374	49441	732167979

Tabulka 5 - Simulované časy

Aby se uživatel aplikace mohl lépe zorientovat, jsou data dále přepočtena na formát *HH:MM:SS* a uložena do souboru k aplikaci.

ID	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	tel
1	14:00:48	14:14:00	14:27:12	14:40:24	15:02:25	15:28:50	15:30:01	15:31:12	777380029
2	11:44:58	11:58:28	12:11:58	12:25:28	12:47:58	13:14:58	13:16:38	13:18:18	777944360
3	10:57:29	10:58:07	10:58:45	10:59:23	11:00:27	11:01:43	11:02:47	11:03:51	777102814
4	13:21:17	13:34:32	13:47:47	14:01:02	14:23:07	14:49:37	14:50:52	14:52:07	731959303
5	16:06:29	16:20:14	16:33:59	16:47:44	17:10:39	17:38:09	17:40:14	17:42:19	732259354
6	17:18:12	17:31:32	17:44:52	17:58:12	18:20:25	18:47:05	18:48:28	18:49:51	777361123
7	3:55:35	3:56:35	3:57:35	3:58:35	4:00:15	4:02:15	4:03:55	4:05:35	777442923
8	5:54:23	5:55:09	5:55:55	5:56:41	5:57:59	5:59:32	6:00:50	6:02:08	732576877
9	17:28:13	17:41:58	17:55:43	18:09:28	18:32:23	18:59:53	19:01:58	19:04:03	732502509
10	4:40:50	4:41:43	4:42:36	4:43:29	4:44:58	4:46:45	4:48:14	4:49:43	777419366
11	18:05:25	18:18:37	18:31:49	18:45:01	19:07:02	19:33:27	19:34:38	19:35:49	777884420
12	12:53:46	13:07:09	13:20:32	13:33:55	13:56:14	14:23:01	14:24:30	14:25:59	731947805
13	7:00:45	7:01:47	7:02:49	7:03:51	7:05:35	7:07:40	7:09:24	7:11:08	777989578
14	14:03:43	14:16:51	14:29:59	14:43:07	15:05:01	15:31:17	15:32:21	15:33:25	731330526
15	12:13:59	12:27:09	12:40:19	12:53:29	13:15:26	13:41:47	13:42:54	13:44:01	731581654

Tabulka 6 - Simulované přepočtené časy

Správnost přepočtu si můžeme ověřit následujícím vzorcem pro vůz 1 v T0.

$$14:00:48 = 14 * 3600 + 0 * 60 + 48 = 50448$$

## 8.2 Simulace nehody

Pokud simulátor vygeneruje, že dojde k nehodě, vybere druh nehody a aplikuje je na předchozí simulovaná data. V tomto případě došlo k nehodě v sektoru S5 a druhu nehody, při kterém se doprava nezastaví, ovšem začne tvořit kolony a auta do místa nehody projíždí podstatně nižší rychlostí. Čas, kdy k simulované nehodě je *11:03:40*

typ nehody	zpomalení
čas nehody	11:03:40
místo nehody	sektor 5

*Tabulka 7 - Simulovaná nehoda*

Opět se lze přesvědčit, že havárie se do výpočtů promítne. Jestliže tedy v *11:03:40* došlo k havárii v sektoru S5, tak všem vozům, které se nacházejí před tímto sektorem a v době, kdy už k tomuto omezení provozu došlo, tedy po čase *11:03:40*, je podstatně snížena rychlost. Vůz číslo 1 se na hranici první buňky dostává v čase *14:00:48* a na hranici druhé buňky se hlásí až v čase *14:14:00*. Na projetí sektoru *S1* potřeboval *13 minut a 12 sekund*. Oproti tomu vůz číslo 3, urazil stejnou vzdálenost za *38 sekund*, protože byl na dálnici před časem nehody.

## 8.3 Překročení rychlosti

V následující tabulce jsou zobrazeny doby zdržení se v každém sektoru. Tuto hodnotu reprezentuje čas handoveru v sektoru  $S$ , od kterého se odečte čas handoveru v sektoru  $S - 1$ .

ID	t01	t12	t23	t34	t45	t56	t67	tel
1	792	792	792	1321	1585	71	71	732785788
2	810	810	810	1350	1620	100	100	732391908
3	38	38	38	64	76	64	64	777660033
4	795	795	795	1325	1590	75	75	777393501
5	825	825	825	1375	1650	125	125	732825927
6	800	800	800	1333	1600	83	83	731441328
7	60	60	60	100	120	100	100	731885113
8	46	46	46	78	93	78	78	731054493
9	825	825	825	1375	1650	125	125	777875769
10	53	53	53	89	107	89	89	777851190
11	792	792	792	1321	1585	71	71	777189471
12	803	803	803	1339	1607	89	89	731221819
13	62	62	62	104	125	104	104	732849189
14	788	788	788	1314	1576	64	64	731966758
15	790	790	790	1317	1581	67	67	732167979

Tabulka 8 - Výpočet zdržení

Pokud délku odpovídajících sektorů podělíme takto získanými mezičasy, dostáváme rychlost každého vozu v daném sektoru. Z další tabulky lze vyčíst, že pouze vozy 3,7,8,10 a 13 havárie nezastihla, zbývající vozy se pohybují nízkou rychlostí (7 km/h) až do sektoru S5. Od tohoto místa dále opět nabírají rychlost.

Pokud se podíváme na rychlost jednotlivých vozů, pak zjišťujeme, že hranici 130 km/h překročili vozy 3,14,15.

ID	v01	v12	v23	v34	v45	v56	v67	tel
1	7	7	7	7	7	127	127	732785788
2	7	7	7	7	7	90	90	732391908
3	142	142	142	141	142	141	141	777660033
4	7	7	7	7	7	120	120	777393501
5	7	7	7	7	7	72	72	732825927
6	7	7	7	7	7	108	108	731441328
7	90	90	90	90	90	90	90	731885113
8	117	117	117	115	116	115	115	731054493
9	7	7	7	7	7	72	72	777875769
10	102	102	102	101	101	101	101	777851190
11	7	7	7	7	7	127	127	777189471
12	7	7	7	7	7	101	101	731221819
13	87	87	87	87	86	87	87	732849189
14	7	7	7	7	7	141	141	731966758
15	7	7	7	7	7	134	134	732167979

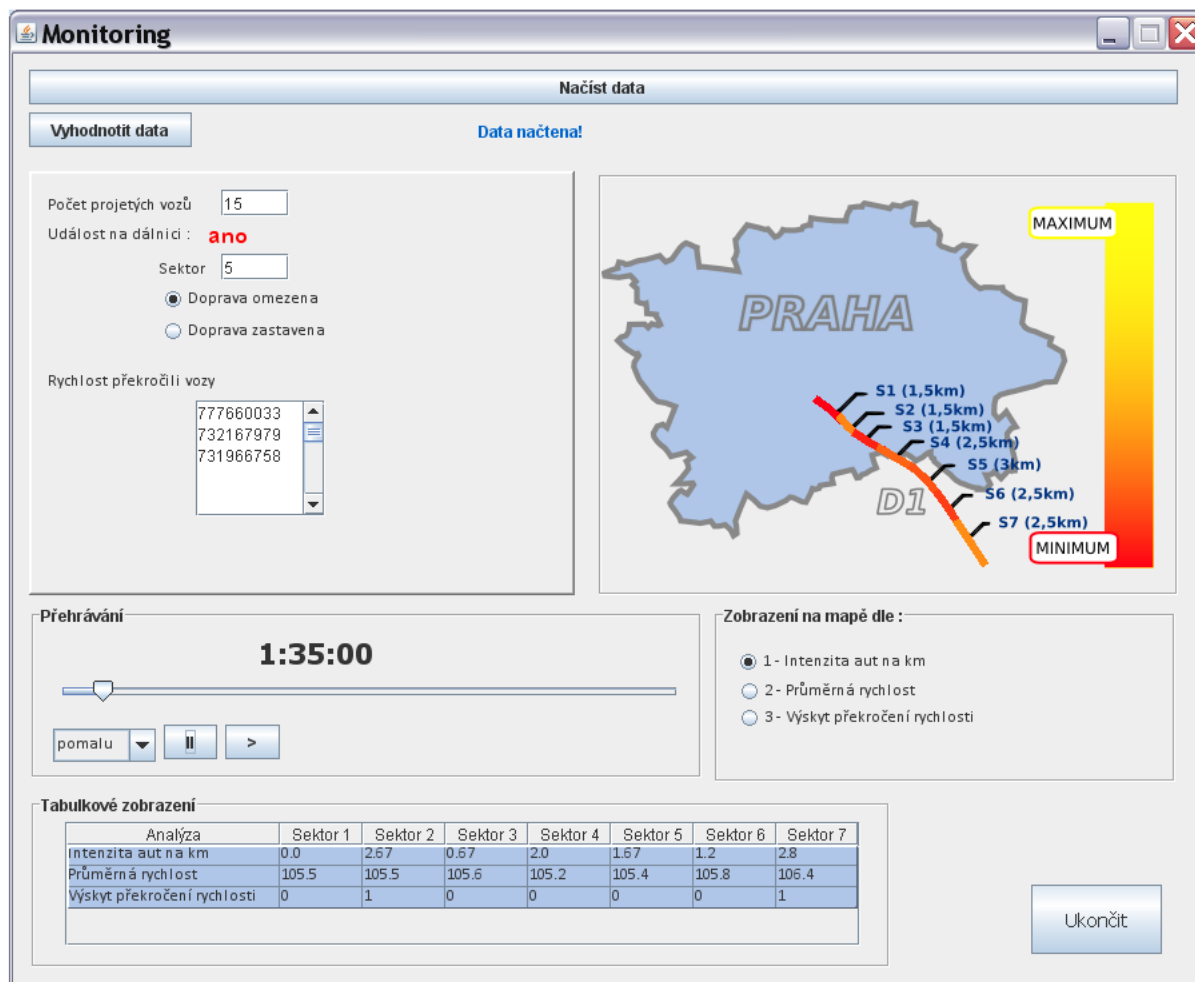
Tabulka 9 - Rychlost simulovaných vozů



## 8.4 Monitorování pohybu

Je-li stisknuto tlačítko načíst data a posléze tlačítko vyhodnotit data, uživatelské rozhraní nám poskytne informace o provozu jako je místo havárie, druh havárie, počet vozů, které projeli daným úsekem a zdali některý z těchto vozů překročil rychlost.

Následující obrázek 16 tyto informace ukazuje.



Obrázek 17 - Grafické rozhraní, modelový příklad

Textové pole ukazuje počet projetých vozů (15), jenž odpovídá hodnotě v simulátoru. Dále jsme informováni, že došlo k omezení provozu, druhu zpomalení a místo, ve kterém událost nastala. Simulátor vygeneroval místo nehody sektor S5 a druh havárie zpomalení, což odpovídá hodnotám vypočteným monitorovací aplikací.

Na závěr je zjišťováno, jestli některý z vozů překročil rychlost a jestli ano, pak se zobrazí jeho identifikátor v podobě mobilního čísla. V tomto případě to jsou čísla

*777660033*

*732167979*

*731966758*

A jsou adekvátní identifikátorům *3,14,15*, tedy jsou shodná s vozy, které skutečně rychlost překročili.

## 9 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Co se týče pouhého určování polohy pomocí sítě GSM, jedná se o metodu docela nepřesnou, v praxi méně používanou a dnes hojně nahrazovanou navigačním systémem GPS. Její potenciál je využit zejména v lokalizaci uživatelů v tísňové situaci, protože vlastníkem mobilního telefonu je většina lidí a hustota sítě základnových stanic je pro tyto účely dostatečná. Jinak je tomu u využití metody zjištění času přechodu mezi dvěma buňkami, kdy je zájmová lokalizovaná plocha nahrazena linií a tím podstatně zvýšená její přesnost. Pokud máme empiricky zjištěné hranice těchto přechodů, pak v době přechodu mezi dvěma těmito buňkami víme, kde se uživatel mobilního telefonu nachází. Chyba, která při tomto druhu lokalizace vzniká, je omezena pouze na prodlení handoveru. U společnosti Vodafone je tato doba limitována 30 sekundami. Pokud bychom chtěli měřit například rychlost vozidel mezi jednotlivými měřenými úseky, pak by při největší možné chybě (30 sekund) docházelo ke zkreslení  $v = \frac{s}{t+30}$ . Nicméně chyba z handoveru by rychlost ovlivňovala pouze směrem dolů, tedy čím větší chyba, tím menší rychlost, a tak je teoreticky možné dohledat vůz, který rychlost skutečně překročil.

Protože základnové stanice jsou majetkem pouze mobilního operátora, který síť provozuje, je tato metoda lokalizace možná pouze ze strany daného operátora, nebo jeho prostřednictvím. Její výhodou je, že realizace v praxi by nebyla finančně nákladná, protože GSM síť je již vybudovaná a informace poskytnuté touto metodou mají své opodstatnění. Operátor dnes vystupuje nejen jako poskytovatel komunikace mezi lidmi, ale rovněž jako informační kanál, který uživateli poskytuje zdroje informací z různých oblastí, včetně dopravního zpravodajství.

## 10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LEE, W.C.Y. *Wireless and cellular telecommunications*. 3rd edition. [s.l.] : McGraw-Hill Professional, 2005. 821 s.
- [2] SMYTH, P. *Mobile and wireless communications : Key technologies and future applications*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 392 s.
- [3] Co je NetBeans [online]. [2000- ] [cit. 2008-03-09]. Dostupný z WWW: <[http://www.netbeans.org/index\\_cs.html](http://www.netbeans.org/index_cs.html)>.
- [4] MySQL [online]. 2008-30-1 [cit. 2008-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/MySQL>>.
- [5] Scorias, J.: A Brief Overview of GSM. [online]. [2000- ] [cit. 2008-03-09]. Dostupný z WWW: <<http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/gsm/js-intro.html>>
- [6] Telecom Call Flows (GSM, ISUP, VoIP). [online]. [2000- ] [cit. 2008-03-09]. Dostupný z WWW:<<http://www.eventhelix.com/RealtimeMantra/Telecom/>>

## 11 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 - PRINCIP SÍTĚ GSM .....	3
OBRÁZEK 2 - POKRYTÍ ZÁKLADNOVÝMI STANICEMI .....	4
OBRÁZEK 3 - TŘÍDNÍ DIAGRAM GSM SÍTĚ .....	6
OBRÁZEK 4 - URČOVÁNÍ POLOHY METODOU CELL ID .....	7
OBRÁZEK 5 - PRINCIP LOKALIZACE POMOCÍ HANDOVERU .....	12
OBRÁZEK 6 - DÁLNIČE D1.....	13
OBRÁZEK 7 - VYBRANÝ ÚSEK DÁLNIČE D1 .....	14
OBRÁZEK 8 - NEHODOVOST NA DÁLNIČÍCH .....	16
OBRÁZEK 9 - OZNAČENÍ SEKTORŮ .....	20
OBRÁZEK 10 - GRAFICKÉ ROZHRAŇÍ.....	21
OBRÁZEK 11 - ALGORITMUS DRUH HAVÁRIE .....	23
OBRÁZEK 12 - ALGORITMUS PŘEKROČENÍ RYCHLOSTI .....	24
OBRÁZEK 13 - CLASS DIAGRAM SIMULACE.....	27
OBRÁZEK 14 - ALGORITMUS SIMULÁTORU .....	28
OBRÁZEK 15 - CLASS DIAGRAM MONITORING .....	29
OBRÁZEK 16 - ALGORITMUS APLIKACE PRO ANALÝZU .....	30
OBRÁZEK 17 - GRAFICKÉ ROZHRAŇÍ, MODELOVÝ PŘÍKLAD.....	36

## 12 SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 - UMÍSTĚNÍ ZÁKLADNOVÝCH STANIC .....	14
TABULKA 2 - NEHODOVOST NA DÁLNIČÍCH .....	16
TABULKA 3 - STRUKTURA DATABÁZE .....	17
TABULKA 4 - DÉLKY SEKTORŮ .....	19
TABULKA 5 - SIMULOVANÉ ČASY .....	31
TABULKA 6 - SIMULOVANÉ PŘEPOČTENÉ ČASY.....	32
TABULKA 7 - SIMULOVANÁ NEHODA .....	33
TABULKA 8 - VÝPOČET ZDRŽENÍ.....	34
TABULKA 9 - RYCHLOST SIMULOVANÝCH VOZŮ .....	35